

М. Ю. Рябчиков, В. В. Гребенникова, Н. В. Богданов
Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск
mr_mgn@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ АГЛОМЕРАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА

В работе рассматривается один из возможных подходов к учету влияния холодной механической прочности, являющейся одной из характеристик качества металлургического агломерата, на оценки эффективности доменного процесса, что позволяет в перспективе решать задачи комплексной оптимизации системы агломашина – доменная печь по различным критериям.

Ключевые слова: качество агломерата; эффективность доменного процесса; восстановимость агломерата; степень прямого восстановления; холодная механическая прочность.

The project deals with one of the possible approaches to accounting effect on quality of blast furnace process with cold crushing strength, which is one of the characteristics of quality of steel sinter. Possible, this is the way to solve in perspective the problem of complex system optimization of sintering plant – blast furnace with different kind of criterion.

Key words: quality of sinter, efficiency of blast furnace, reducibility of sinter, degree of direct reduction, cold crushing strength.

В последнее время все больше внимания уделяется подготовке железорудного сырья к доменной плавке как одному из способов повышения эффективности этого процесса. Несмотря на возрастающие масштабы производства окатышей, основным видом железорудного сырья для доменных печей остается агломерат. Для обеспечения высокоэффективной работы доменной печи необходимо применять агломерат, стабилизированный по форме, механической прочности и гранулометрическому составу, с минимальным содержанием мелкой фракции -5 мм, а также хорошо восстанавливаемый.

В доменной печи агломерат испытывает значительные нагрузки, приводящие к его существенному разрушению и увеличению в столбе материалов мелочи -5 мм. Эти нагрузки условно можно разделить на три типа:

- механические нагрузки, которые возникают при загрузке агломерата в доменную печь, а также под действием массы столба шихты при опускании материалов;
- нагрузки, возникающие при тепловом расширении агломерата в шахте печи;
- нагрузки, возникающие в кусках агломерата в результате его физико-химических преобразований.

Характер воздействия этих нагрузок не является постоянным и может изменяться под влиянием различных факторов, поэтому процессы разрушения агломерата могут проходить под воздействием сразу трех типов нагрузок [1].

Выделяют следующие основные показатели прочности агломерата:

1. Механическая прочность ТІ – способность сопротивляться разрушающим усилиям (трению, сжатию и удару) при транспортировке, загрузке и движении в доменной печи.
2. Прочность агломерата после восстановления RDI – способность агломерата сохранять механическую прочность после восстановления и поддерживать газодинамическое сопротивление слоя как можно меньше и дольше при высоких температурах для обеспечения ровного хода доменной печи.

Механическая прочность агломерата ТІ оказывает влияние на ход доменного процесса до области температур шихты более 570–600 °С при которых развитие получают реакции косвенного восстановления с использованием СО и Н₂. При развитии этих реакции индекс ТІ не позволяет более судить о прочностных характеристиках агломерата, которые в большей степени начинают определяться индексом RDI, связь которого с ТІ носит неоднозначный характер [2].

При создании комплексной модели агло-доменного процесса, исходя из сказанного, возникает ряд проблем. Во-первых, необходимо создание моделей расчета оценок качества металлургического агломерата. С этой задачей связано значительное число работ [напр. 3, 4], из которых следует, что на текущий момент основным способом моделирования качества агломерата является статистика. Статистическое моделирование качества имеет ряд своих проблем, связанных, например, с нерепрезентативностью экспериментальных данных, использованием различных способов испытаний материалов при расчете оценок прочности и восстановимости. Например, ранее в СССР использовали, согласно ГОСТ, барабанный индекс прочности -5 мм, в то время как индекс ТІ предполагает оценку доли -6,3 мм.

Статистические модели в качестве средства оперативного контроля могут использоваться при решении задач стабилизации качества агломерата путем использования данных об оперативных анализах химического состава рудных материалов и технологических параметрах спекания. То есть эти модели пригодны к получению агломерата с фиксированными пара-

метрами, которые считаются рациональными и которые для технологов доменного процесса являются ожидаемыми.

Изучение публикаций за значительный период времени показало, что практически отсутствуют исследования и экспериментальные данные о том, как на ход доменного процесса повлияет отклонение отдельных характеристик качества агломерата от обычно обеспечиваемых уровней ($TI = 70\text{--}80\%$; $RDI < 15\%$).

Как правило, авторами [1] рассматриваются особенности фактического изменения гранулометрического состава агломерата в процессе продвижения материалов в доменной печи без привязки к показателям его исходного качества.

Это не позволяет напрямую использовать статистические модели качества агломерата для оптимизации комплекса агломашина-доменная печь. Для решения подобных задач требуется разработка и адаптация моделей разрушения агломерата. Подобные работы в настоящий момент ведутся различными коллективами [5].

При моделировании разрушения можно выделить три различных, часто используемых подхода. Первый предполагает поиск статистических связей между оценками нагрузки и гранулометрических составов исходных материалов и получаемых продуктов. Данный подход плохо применим для решения поставленной задачи, так как адаптация модели разрушения должна проходить по данным лабораторных испытаний, соответствующим методикам определения показателей TI и RDI , а дальнейшее назначение моделей – расчет разрушения материалов в доменной печи.

Вторым возможным подходом является использование уравнений статистической механики исходя из функций распределения прочности элементов. При этом статистическое описание прочности связывает разные масштабные уровни размеров кусков. Подход позволяет рассматривать руду в виде неоднородного образования, состоящего из случайно распределенных в ее объеме неоднородностей, и основан на том, что прочность структурных элементов δ_i , δ_j разных объемов V_i , V_j разрушения может быть связана соотношением Вейбулла [5]:

$$\delta_i / \delta_j = (V_j / V_i)^{1/m}, \quad (1)$$

где m – параметр неоднородности структуры.

Недостатком подхода является сложность учета характера действующих на агломерат нагрузок. Более перспективным представляется подход, основанный на анализе напряженного состояния включений в матрице, учитывающий радиальные и угловые составляющие нормальных напряжений. Например, в [6] получено решение для критической нагрузки при известных размерах куска руды и абсолютно жесткого включения. Предположено, что наибольшая величина максимального касательного

напряжения достигается на контакте руды с жестким включением (под которым для агломерата понимаем области горения частиц коксика), т. е. разрушение начинается на внутренней границе шара при достижении касательным напряжением τ предельного значения σ_c :

$$\tau = \frac{Q}{2} \frac{3(1-2\nu)}{(1+\nu) + 2(1-2\nu)\frac{a^3}{b^3}}.$$

где ν - коэффициент Пуассона руды; Q – сжимающая нагрузка.

При адаптации такой модели можно использовать параметры совместной функции плотности распределения ν и σ_c , обеспечивая тем самым настройку модели по результатам лабораторных испытаний механической прочности агломерата. Решение этой задачи в перспективе должно позволить получить приближенные решения задач оптимизации комплекса агломашина-доменная печь.

Список литературы

1. Бочка В. В. Влияние предварительной механической обработки агломерата на газопроницаемость столба шихты в доменной печи / В. В. Бочка, Р. А. Куприков, С. Е. Сулименко, Е. Е. Вылупко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 3. С. 8–11.
2. Рябчиков М. Ю. Моделирование прочности металлургического агломерата после восстановления с целью организации непрерывного контроля его качества / М. Ю. Рябчиков, В. В. Гребенникова, Е. С. Рябчикова // *Теория и технология металлургического производства*. 2013. № 1. С. 10–12.
3. Рябчиков М. Ю. Контроль качества металлургического агломерата с использованием модели восстановимости / М. Ю. Рябчиков, В. В. Гребенникова, Е. С. Рябчикова // *Сталь*. 2014. № 2. С. 4–8.
4. Рябчиков М. Ю. Моделирование комплексного влияния производственных факторов на механическую прочность металлургического агломерата // М. Ю. Рябчиков, В. В. Гребенникова // *Металлург*. 2013. № 4. С. 40–47.
5. Хопунов Э. А. Селективное разрушение минерального и техногенного сырья / Э. А. Хопунов. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. 429 с.
6. Расчет параметров валкового пресса для дробления кимберлитовой руды / И. Л. Болтенгаген, В. Н. Власов, В. И. Клишин // *Физ.-тех. проблемы разработки полезных ископаемых*. 2003. № 3. С. 61–72.